

## ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА БИСПЕКТРАЛЬНО-ОРГАНИЗОВАННОЙ МОДУЛЯЦИИ

Науменко В. В., к.т.н., Тоцкий А. В., д.т.н., профессор

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского  
«ХАИ», Харьков, Украина

Моментная функция третьего порядка наблюдения и ее преобразование Фурье — биспектр широко используются в цифровой обработке сигналов при решении задач обнаружения и восстановления негауссовых процессов, наблюдаемых в аддитивном гауссовом шуме, а также распознавания образов и различения сигналов в системах радиолокации, астрономии, обработки биомедицинских сигналов и других приложениях [1]. Метод биспектрального оценивания позволяет выявить в наблюдении такие зависимости и свойства, которые невозможно определить, используя традиционные статистики второго порядка — корреляционную функцию и спектральную плотность. К достоинствам метода биспектральной обработки сигналов относятся возможность выявления и оценивания фазовых взаимосвязей спектральных компонент в наблюдении, высокая помехоустойчивость по отношению к аддитивному гауссову шуму и инвариантность к задержке сигнала [2]. Данные достоинства лежат в основе предлагаемого в настоящей статье способа улучшения помехоустойчивости цифровой системы связи, когда информацию при передаче сообщения «закладывают» не в виде классических изменений амплитуды, частоты или фазы несущей, а в виде двух ортогональных частотных триплетов (троек частот) таких, что одна из частот в каждом триплете равна сумме двух других.

Представим предлагаемые модулирующие сигналы, ориентируясь на стандартный [3] формат частотной манипуляции (*FSK*) при двоичной передаче данных, в виде логического «0» и «1»:

$$s_0(t) = A_0 \sum_{k=1}^3 \cos(2\pi f_{0k}t + \varphi_{0k}), \quad (1a)$$

$$s_1(t) = A_0 \sum_{k=1}^3 \cos(2\pi f_{1k}t + \varphi_{1k}), \quad (1б)$$

где  $f_{03} = f_{01} + f_{02}$ ,  $\varphi_{03} = \varphi_{01} + \varphi_{02}$ ;  $f_{13} = f_{11} + f_{12}$ ,  $\varphi_{13} = \varphi_{11} + \varphi_{12}$ .

На рис. 1 приведена блок-схема биспектрально-организованного модулятора. На вход электронного ключа (см. рис. 1) поступает цифровой сигнал  $x(t)$ , соответствующий последовательности битов в передаваемом сообщении. В зависимости от поступившего бита «0» или «1» ключ принимает соответственно верхнее или нижнее положение. Затем сигнал, разделенный на  $x_0(t)$  и  $x_1(t)$ , что соответствует передаче «0» или «1», поступает

на перемножитель, где формируются колебания (1а) или (1б), модулирующие несущую  $s(\cdot)$ .

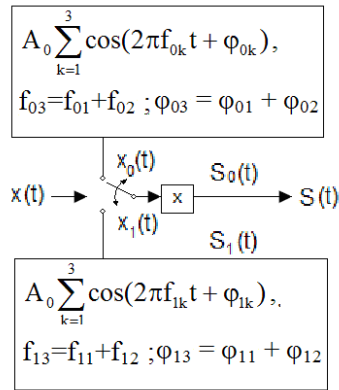


Рисунок 1. Структура модулятора:  
 $x(t)$  — поток битов;  $s(t)$  — несущая

На рис. 2 представлена блок-схема демодулятора, реализующая процесс обнаружения.

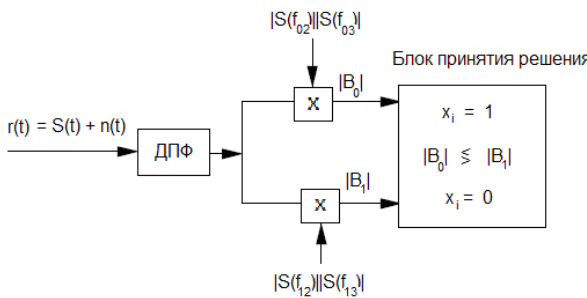


Рисунок 2. Блок-схема биспектрального демодулятора

Следует обратить внимание на то, чтобы частотные триплеты  $f_{03} = f_{01} + f_{02}$  и  $f_{13} = f_{11} + f_{12}$  в (1а, б) были заданы таким образом, чтобы величина пикового значения модуля биспектра сигнала  $s_0(t)$  «хорошо» отличалась от пикового значения модуля биспектра сигнала  $s_1(t)$ , т.е. необходимо обеспечить требуемую ортогональность оценки биамплитуды в двумерном частотном пространстве.

После понижения частоты на вход демодулятора поступает аддитивная смесь полезного сигнала и шума  $n(t)$

$$r(t) = s_i(t) + n(t), i = 0, 1 \quad (2)$$

Предлагаемый процесс демодуляции сводится к следующим процедурам обработки.

1) Расчет преобразования Фурье наблюдения (2):

$$\hat{R}_i(f) = \int_0^{T_b} [s_i(t) + n(t)] e^{-j2\pi ft} dt, \quad (3)$$

где  $T_b$  — длительность бита.

2) В двух опорных каналах демодулятора (см. рис. 2) «защиты» в памяти прототипы — преобразования Фурье «чистых», т.е. без шума сигналов (2а) и (2б) в виде:

$$\dot{S}_0(f) = \int_0^{T_b} s_0(t) e^{-j2\pi ft} dt, \quad (4а)$$

$$\dot{S}_1(f) = \int_0^{T_b} s_1(t) e^{-j2\pi ft} dt. \quad (4б)$$

3) Расчет оценок биамплитуды с использованием прототипов (4а) и (4б)

$$|\dot{B}_0(f_{01}, f_{02})| = |\dot{R}_i(f_{01})| |\dot{S}_0(f_{02})| |\dot{S}_0(f_{01} + f_{02})|, \quad (5а)$$

$$|\dot{B}_1(f_{11}, f_{12})| = |\dot{R}_i(f_{11})| |\dot{S}_1(f_{12})| |\dot{S}_1(f_{11} + f_{12})|. \quad (5б)$$

4) Сравнение между собой величин амплитуды функций (5а) и (5б). Пиковое значение функции (5а) должно появиться в соответствии с (1а) на биспектральной плоскости в точке с координатами  $(f_{01}, f_{02})$ , а пиковое значение функции (5б) — в соответствии с (1б) на биспектральной плоскости в точке с координатами  $(f_{11}, f_{12})$ . Решение об обнаружении «0» или «1» на фоне шума принимают по результатам сравнения между собой данных пиковых значений.

#### **Литература**

1. Зеленский А. А. Биспектральный анализ в приложении к цифровой обработке сигналов /А. А. Зеленский, В. В. Лукин, А. В. Тоцкий //Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях. — М. :, 2007. — Гл. 2. — С. 92—173.
2. Nikias C. L. Bispectral estimation: A digital signal processing framework/ C. L. Nikias, M. R. Raghuveer. — Proc. IEEE. — Vol. 75, No. 7. — 1987. — P. 869—891.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание: пер. с англ. / Б. Скляр — М. : 2003, — 1104 с.

#### **Анотація**

Запропоновано метод підвищення завадостійкості цифрової системи зв'язку, заснований на біспектральноорганізованій модуляції та процедурі демодуляції з використанням нової тестової статистики виявлення сигналу у вигляді пікової величини оцінки амплітудного біспектру спостереження.

Ключові слова: завадостійкість, біспектр, триплет.

#### **Аннотация**

Предложен способ повышения помехоустойчивости цифровой системы связи, основанный на биспектрально-организованной модуляции и процедуре демодуляции с использованием новой тестовой статистики обнаружения сигнала в виде пикового значения оценки амплитудного биспектра наблюдения.

Ключевые слова: помехоустойчивость, биспектр, триплет.

#### **Abstract**

A method of improving the noise immunity of digital communication system based on bispectrum-organized modulation and demodulation procedure by using novel test signal detection statistic in the form of bispectrum magnitude peak is developed

Keywords: noise immunity, bispectrum, triplet.